

POWERED BY **Dialog**

NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DIODE

Publication Number: 2002-033512 (JP 2002033512 A) , January 31, 2002

Inventors:

- NAGAHAMA SHINICHI

Applicants

- NICHIA CHEM IND LTD

Application Number: 2000-212932 (JP 2000212932) , July 13, 2000

International Class:

- H01L-033/00
- H01L-021/205

Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nitride semiconductor light emitting diode which has a sufficient light emitting area and is excellent in quantum efficiency and linearity though the diode uses a substrate in which low-dislocation density areas and high-dislocation density areas alternately exist like the ELOG-grown substrate. **SOLUTION:** The LED chip of this nitride semiconductor light emitting diode is formed in such a large area that contains a plurality of low-dislocation density areas 34 and high-dislocation density areas 32 by using a nitride semiconductor substrate 16 in which the areas 34 and 32 alternately exist in short cycles and currents are concentrated to the areas 34 by means of current barrier layers 24 provided under a p-electrode 26. The barrier layers 24 can be formed by using AlGaIn, etc., which forms a Schottky junction with the p-electrode 26.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

JAPIO

© 2004 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

Dialog® File Number 347 Accession Number 7165128

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に、 n 型窒化物半導体層と、 p 型窒化物半導体層と、前記 p 型窒化物半導体層のほぼ全面に形成された金属電極とを有する窒化物半導体発光ダイオードにおいて、

前記基板が、低転位密度領域と高転位密度領域が平面方向に交互に存在する窒化物半導体表面を有し、

前記高転位密度領域の少なくとも一部の上に、前記 p 型窒化物半導体層と前記金属電極の間に挟まれた電流障壁層を有することを特徴とする窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項 2】 前記電流障壁層が、前記金属電極とショットキ接合する窒化物半導体から成ることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項 3】 前記電流障壁層が、 n 型窒化物半導体から成り、前記 p 型窒化物半導体層との間に逆方向バイアスとなる $p-n$ 接合を形成することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項 4】 前記電流障壁層が、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x \leq 1$) から成ることを特徴とする請求項 2 又は 3 記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項 5】 前記電流障壁層が、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0.5 < x \leq 1$) から成ることを特徴とする請求項 2 又は 3 記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項 6】 前記電流障壁層が、絶縁性酸化物から成ることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項 7】 前記基板が、低転位密度領域と高転位密度領域が平面方向に交互に存在する窒化物半導体層の下側に、周期的なストライプ状、格子状又は島状パターンに形成されたマスク層を有することを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項 8】 前記マスク層が、融点 1200°C 以上の金属、酸化ケイ素、窒化ケイ素、酸化チタン、酸化ジルコニウム、及びこれらの多層膜から成る群から選択された 1 種から成ることを特徴とする請求項 7 記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項 9】 前記基板が、低転位密度領域と高転位密度領域が平面方向に交互に存在する窒化物半導体層の下側に、周期的なストライプ状、格子状又は島状に形成された窒化物半導体層を有することを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、窒化物半導体 ($In_xAl_{1-x}Ga_{1-x-y}N$, $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) を用いた発光ダイオードに関する。

【0002】

【従来の技術】 窒化物半導体は青色又は純緑色の高輝度な発光ダイオード (以下、LED) の材料として、フル

カラー LED ディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源で実用化されている。また、窒化物半導体を用いた青色 LED は、黄色の蛍光を発する蛍光体を組み合わせることによって白色 LED とすることができる。白色 LED は、長寿命、低消費電力といった LED の特性を生かして、既存の白色蛍光灯の代替光源として期待されている。現在、これらの LED 素子は、サファイアや炭化ケイ素等の異種基板上に、 GaN 等よりなるバッファ層を介して、素子構造を形成するのが一般的である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、サファイアや炭化ケイ素等の異種基板は窒化物半導体と格子整合しないため、基板との界面において発生した結晶転位がその上に形成された素子構造を貫通して進行し、LED の発光層には一定の結晶転位が残っている。

【0004】 このため、窒化物半導体を用いた青色 LED の外部量子効率 $15 \sim 18\%$ に止まっており、これを使って白色 LED を構成した時の発光効率は未だ蛍光灯に及んでいない。また、現在の窒化物半導体 LED は、残存する結晶転位における非発光再結合のために、大電流を流した時の電流-光出力特性 ($I-L$ 特性) のリニアリティが悪く、大電流用途で安定的に使用することができないといった問題もある。

【0005】 一方、近年、より結晶性の良好な窒化物半導体素子を形成するために、異種基板上で窒化物半導体を横方向に成長させる ELOG (Epitaxially Laterally OverGrown) 成長法が開発されている。窒化物半導体が横方向に成長する領域において、窒化物半導体と異種基板の界面において発生した転位は、窒化物半導体の成長と共に横方向にのみ進行するため、低転位密度の窒化物半導体を成長させることができる。

【0006】 例えば、サファイア等の異種基板上に成長させた窒化物ガリウム上に SiO_2 等のマスクを部分的に形成し、この上に窒化ガリウムを成長させることにより低転位密度の窒化ガリウム基板を製造することができる。 SiO_2 上には窒化ガリウムが直接成長しないため、マスクされていない領域を成長起点として、窒化ガリウムが横方向に成長する。したがって、 SiO_2 上に成長した窒化ガリウムが低転位密度となる。

【0007】 しかし、こうした ELOG 成長法による窒化物半導体基板においては、その原理上、低転位密度の領域が $10 \sim 15 \mu\text{m}$ の周期的なストライプ状にしか存在しない。一方、面発光を行う発光ダイオードは、必要な発光面積を確保するために、通常数百 μm 角の広さの活性層を必要とする。このため、ELOG 成長基板を用いても、活性層中に低転位密度領域と高転位密度領域が混在してしまい、十分な量子効率やリニアリティを持つ発光ダイオードを製造することは困難であった。

【0008】 そこで、本発明は、ELOG 成長基板のよ

うに低転位密度領域と高転位密度領域が交互に存在する基板を用いながら、十分な発光面積を有し、かつ、量子効率やリニアリティに優れた窒化物半導体発光ダイオードを提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、基板上に、n型窒化物半導体層と、p型窒化物半導体層と、前記p型窒化物半導体層のほぼ全面に形成された金属電極とを有する窒化物半導体発光ダイオードにおいて、前記基板が、低転位密度領域と高転位密度領域が平面方向に交互に存在する窒化物半導体表面を有しており、前記高転位密度領域の少なくとも一部の上方に、前記p型窒化物半導体層と前記金属電極の間に挟まれた電流障壁層を有することを特徴とする。

【0010】即ち、本発明のLEDは、低転位密度領域と高転位密度領域が短周期に交互に存在する窒化物半導体基板を用いて、両方の領域が各々複数含まれるような大面積にチップを形成することによって発光面積を確保し、また、電流障壁層により低転位密度領域に電流を集中させることによって量子効率やリニアリティを向上させる。

【0011】ここで、高転位密度領域及び低転位密度領域とは、各々、単位面積当たりに存在する転位の数が相対的に多い領域及び少ない領域を指す。一般的なエピタキシャル成長をさせた場合、転位は成長方向に合わせて基板に略垂直に進行し、貫通転位を生じる。このため、基板の上にエピタキシャル成長させたn型窒化物半導体層及びp型窒化物半導体層には、基板の表面とほぼ同一の転位密度分布が存在する。転位数は、例えば、透過型電子顕微鏡による観察やウェットエッチングによるピットの数として評価することができる。尚、低転位密度領域の高転位密度領域に対する転位密度の比は、特に限定されるものではないが、 $1/10$ 以下、好ましくは $1/100$ 以下である。この時、低転位密度領域の欠陥密度としては、 $1 \times 10^{10}/\text{cm}^2$ 以下であり、好ましくは $1 \times 10^8/\text{cm}^2$ 以下となるものである。高転位密度領域の欠陥密度としては、 $1 \times 10^{10}/\text{cm}^2$ 以上であり、欠陥が多い場合には $1 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ 以上となるものである。

【0012】本発明のLEDにおいて、p型窒化物半導体層からn型窒化物半導体層に向かって流れる電流は、電流障壁層の形成されていない低転位密度領域から流れ始めるが、一般に、p型窒化物半導体層はn型窒化物半導体層に比べて高い抵抗率を有するため、p型窒化物半導体層内を通過する時には電流はあまり広がらない。したがって、p型窒化物半導体層とn型窒化物半導体層の間に存在する発光層において、低転位密度領域に電流を集中することができる。これにより、発光層内における非発光再結合を抑制して、窒化物半導体LEDの内部量子効率及びI-V特性のリニアリティを向上することが

できる。

【0013】電流障壁層は、金属電極とショットキ接合する窒化物半導体、例えば、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$)を用いて形成することが好ましい。これにより、p型用金属電極と電流障壁層との間にショットキ障壁が形成され、高転位密度領域に流れる電流を遮断することができる。電流障壁層を構成する $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ は、Al含有率が高い程バンドギャップエネルギー(E_g)が大きくなり、p型用金属電極とショットキ接合し易くなる。したがって、良好なショットキ障壁を形成する観点からは、Al含有率が高い程有利であり、Al含有率(=x)を0.5よりも大きく設定することが好ましい。

【0014】また、電流障壁層を構成する窒化物半導体の導電性をn型とすることによって、電流障壁層とp型窒化物半導体層との間に逆方向バイアスとなるpn接合を形成することが好ましい。この逆バイアスとなるpn接合によって、高転位密度領域に流れる電流を一層抑制することができる。例えば、p型窒化物半導体層の上に $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ を電流障壁層として成長させる際に、シリコン等のn型ドーパントを添加することにより、逆バイアスとなるpn接合を形成することができる。

【0015】また、電流障壁層を窒化物半導体によって形成する代りに、 SiO_2 又は TiO_2 等の絶縁性酸化物を用いて電流障壁層を形成しても良い。

【0016】本発明に用いる基板は、低転位密度領域と高転位密度領域が表面に交互に存在する基板であれば特に限定されないが、例えば、ELOG成長法によって形成された窒化物半導体基板を用いることができる。ELOG成長法には、種々の方法が考えられる。例えば、マスクパターンを用いてELOG成長を行う場合、周期的なストライプ状、格子状又は島状パターンのマスク層を形成しておけば、その上に成長した窒化物半導体層に低転位密度領域と高転位密度領域が平面方向に交互に現れる。マスク層は、融点 1200°C 以上の金属、酸化ケイ素、窒化ケイ素、酸化チタン、酸化ジルコニウム、又はこれらの多層膜によって形成することができる。

【0017】また、マスクパターンに代えて、周期的なストライプ状、格子状又は島状に形成された窒化物半導体層を形成しておいても良い。この場合にも、その上に成長した窒化物半導体層に低転位密度領域と高転位密度領域が平面方向に交互に現れる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。各図において同一の符号を付した部材は、同一又は対応する部材を表す。また、図1～5に示す断面図において、図面の簡単のために、ハッチングを省略している。

【0019】実施の形態1

図1は、本発明に係る窒化物半導体LEDの一例を示す模式的断面図である。基板16の上に、n型層18、活

性層20、p型層22が順次積層されている。これらの層は、いずれも、窒化物半導体 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) から成り、単一の組成であっても、複数の組成を積層したものであっても良い。p型層22及び活性層20は、n型層18の一部が露出するようにエッチングされており、その露出面にW/A1等から成るn型電極30が形成されている。一方、p型層22のほぼ全面に、Ni/Au等の金属薄膜から成る透光性のp型電極(=金属電極)26がp型層22にオーミック接触するように形成されている。また、p型電極26の上に、ボンディング用のAu等のpパッド電極28が形成されている。

【0020】基板16は、サファイア等の異種基板10上に、ストライプ状の SiO_2 マスク12を用いて窒化ガリウム層14をELOG成長させて成り、その表面には、高転位密度領域32と低転位密度領域34が交互に存在している。後に詳述するように、マスクを用いたELOG成長基板において、高転位密度領域32は、マスク12の間の領域(窓領域32a)と、マスク12の中央付近で窒化ガリウム14同士が互いに接合する領域(接合領域32b)とに現れる。基板16の上にエピタキシャル成長させたn型層18、活性層20及びp型層22には、図中点線で示すように、基板16の表面とほぼ同一の転位密度分布が存在している。尚、図1において、ハッチングを付した領域は、基板16及び活性層20における高転位密度領域を表す。

【0021】高転位密度領域32の上方であって、p型窒化物半導体層とp型電極26の間には、電流障壁層24が形成されており、活性層20を流れる電流が低転位密度領域34に集中するように、電流経路を制限する役割を果たす。本実施の形態においては、発光面積を広く確保するために、上述した2種類の高転位密度領域32のうち窓領域32aの上方にのみ電流障壁層24を形成している。電流障壁層24は、p型電極26とショットキ接合する窒化物半導体、例えば、ノンドープ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$) から成り、透光性p型電極26との間にショットキ障壁を形成することによってLED内を流れる電流の経路を制限する。

【0022】図2は、本発明における窒化物半導体発光ダイオードを流れる電流経路を示す模式図である。尚、図2において、高転位密度領域と低転位密度領域の構成は図1に比べて簡略化している。図に示すように、p型電極26からn型電極30に向かって流れる電流は、電流障壁層24の形成されていない低転位密度領域34から流れ始め、p型層22、活性層20、及びn型層18を経てn型電極30に至る。一般に、p型窒化物半導体層は、n型窒化物半導体層よりも数倍高い抵抗率を有するため、p型層22内を通過する時には電流はあまり広がらない。これは、窒化ガリウム系化合物半導体の場合、n型とp型の抵抗率の比は1:100程度であるこ

とに大きく起因するものである。したがって、図2に示すように、活性層22においても、電流障壁層24による電流経路制限の効果は維持され、低転位密度領域34に電流が集中する。これにより、活性層22内における非発光再結合が抑制されるため、窒化物半導体LEDの内部量子効率が増大し、また、大電流域におけるI-L特性のリニアリティが保たれる。

【0023】電流障壁層24を構成する $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ は、Al含有率が高い程仕事関数が大きくなり、透光性p型電極を構成するNi又はAu等の金属とショットキ接合し易くなる。したがって、良好なショットキ障壁を形成する観点からは、Al含有率が高い程有利であり、Al含有率を0.5よりも大きく設定することが好ましい。逆に、電流障壁層24と接するp型層22の最上層は、Ni又はAu等の金属とオーミック接合し易い必要があり、例えば、Alを含まないGaNによって形成されている。尚、電流障壁層24は、電流の漏洩を防止するためにできるだけ緻密な膜であることが有利であり、p型層22の上にエピタキシャル成長できる組成であることが好ましい。

【0024】また、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ から成る電流障壁層22の膜厚は、トンネル電流の通過を抑制するのに十分な膜厚とする必要があり、好ましくは100Å以上とする。また、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.5 < x$) から成る電流障壁層22を、GaNから成るp型層22の上に形成する場合、あまり厚く形成するとクラックが発生するため、0.1μm以下、好ましくは500Å以下に形成することが望ましい。

【0025】また、電流障壁層24として、ノンドープ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ に代えて、シリコン等のn型ドーパントを添加したn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ を形成しても良い。電流障壁層24をn型窒化物半導体とすることにより、電流障壁層24とp型層22との間に逆方向バイアスとなるpn接合を形成し、高転位密度領域32を通過する電流をさらに効果的に抑制することができる。

【0026】また、電流障壁層24として、窒化物半導体に代えて、 SiO_2 又は TiO_2 等の絶縁性酸化物を形成しても良い。

【0027】次に、基板16について説明する。図3は、基板16の製造方法を示す模式断面図である。サファイア基板10の上にバッファ層(図示せず)を成長させた後、アンドープGaN層11を成長させる。基板10はサファイアその他、 SiC 、 ZnO 、スピネル、GaAs等窒化物半導体を成長させるために知られている、窒化物半導体と異なる材料よりなる基板を用いることができる。

【0028】次にこのアンドープGaN層11の成長後、図3(a)に示すように、このGaN層11の表面に、ストライプ状のフォトマスクを形成し、 SiO_2 よりなるマスク12を形成する。マスク12の形状として

はストライプ状、格子状、島状等のような形状でも良いが、アンドープGaN層11の露出部分、即ちマスクが形成されていない部分（窓部）よりもマスク12の面積を大きくする方が、結晶欠陥の少ないGaN層14を成長させやすい。マスク12の材料としては、例えば酸化ケイ素（SiO_x）、窒化ケイ素（Si_xN_y）、酸化チタン（TiO_x）、酸化ジルコニウム（ZrO_x）等の酸化物、窒化物、またこれらの多層膜の他、1200℃以上の融点を有する金属等を用いることができる。これらのマスク材料は、窒化物半導体の成長温度600℃～1100℃の温度にも耐え、その表面に窒化物半導体が成長しないか、成長しにくい性質を有している。

【0029】マスク12を形成後、図3（b）に示すように、アンドープGaN層14を成長させる。成長させるGaN層14の好ましい成長膜厚は、先に形成したマスク12の膜厚、大きさによっても異なるが、マスク12の上部において横方向（厚さ方向に垂直な方向）にも成長してマスク12の表面を覆うように十分な厚さに成長させる。このように窒化物半導体が成長しにくい性質を有するマスク12の表面上に、横方向にGaN層14を成長させる手法で製造すると、最初はマスク12の上にはGaN層14が成長せず、窓部のアンドープGaN層11の上にGaN層14が選択成長される。

【0030】続いて、図3（c）に示すように、GaN層14の成長を続けると、GaN層14が横方向に成長して、マスク12の上に覆いかぶさって行き、隣接した窓から成長したGaN層14同士でつながって、マスク12の上にGaN層が成長したかのような状態となる。つまり、GaN層上にマスク12を介してGaN層14を横方向に成長させる。

【0031】ここで、異種基板と窒化物半導体との格子定数のミスマッチにより、異種基板の上に成長される窒化物半導体には非常に多くの結晶欠陥が発生し、この結晶欠陥は順次上層に形成される窒化物半導体成長中を縦方向に進行して表面まで伝わる。一方、マスク12上に横方向に成長されたGaN層14は、異種基板上に直接成長したものではなく、隣接する窓から成長させたGaN層14が、マスク12上に横方向に成長することにより成長中につながったものであるため、結晶欠陥の数は異種基板から直接成長したものに比べて非常に少なくなる。したがって、こうして成長させたGaN層14は、異種基板から直接成長した窓領域32a及び横方向に成長したGaN層14が互いに接合した接合領域32bを除いて、転位の数が少ない結晶となる。アンドープGaN層11の転位は $10^{10}/\text{cm}^2$ 以上あるが、この方法によるGaN層14の低転位密度領域34における転位は $10^8/\text{cm}^2$ 以下に減少させることができる。

【0032】尚、窒化ガリウム層14を十分な厚膜に形成した場合、窒化ガリウム層14以外の異種基板10等を切除して、窒化ガリウム単体によって基板16を構成

しても良い。

【0033】また、本発明において、基板16は、低転位密度領域と高転位密度領域が面内に交互に現れる基板であれば良く、図3に示す方法で製造されたものには限られない。例えば、SiO₂マスクを形成する代りに、サファイア等の異種基板上に成長した窒化ガリウム系化合物半導体層をストライプ状（又は、格子状若しくは島状）にエッチングしてサファイア基板を部分的に露出させ、この上に窒化ガリウムを成長させることによって、低転位密度の窒化ガリウム基板を製造することができる。窒化ガリウムはサファイア基板上には直接エピタキシャル成長しにくいいため、ストライプ状の窒化ガリウム層を成長起点として、窒化ガリウムが横方向に成長する。したがって、サファイア基板の露出部分の上に成長した窒化ガリウムが低転位密度となる。

【0034】また、サファイア等の異種基板上に窒化ガリウム系化合物半導体層を成長させた後、異種基板を露出しない深さで凹凸を形成し、その上に窒化ガリウムを成長させることによって基板16を製造しても良い。さらにまた、サファイア等の異種基板自身に周期的な凹凸を形成し、その上に窒化ガリウムを成長させて基板16を製造しても良い。

【0035】本実施の形態においては、n型層18、活性層20、及びp型層22を積層したダブルヘテロ構造のLEDについて説明したが、本発明はこれに限られない。例えば、n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層を積層したpn接合構造のLEDであっても良い。

【0036】実施の形態2

図4は、本発明の実施の形態2に係る窒化物半導体LEDを示す断面図である。図4に示す窒化物半導体LEDは、電流障壁層24の形成位置を除いて、実施の形態1における窒化物半導体LEDと同様である。

【0037】実施の形態1においては、2種類の高転位密度領域である窓領域32a及び接合領域32bのうち、窓領域32aの上方にのみ電流障壁層24を形成した。本実施の形態においては、さらに、接合領域32bの上方にも電流障壁層24を形成する。これにより、発光面積はやや減少するものの、活性層20における非発光再結合の発生をより効果的に抑制して、内部量子効率及びI-L特性のリニアリティをさらに向上することができる。

【0038】実施の形態3

図5は、本発明の実施の形態3に係る窒化物半導体LEDを示す断面図である。図5に示す窒化物半導体LEDは、基板16の構成及び電流障壁層24の形成位置を除いて、実施の形態1又は2と同様である。

【0039】本実施の形態においては、基板16の製造中にELOG成長を2回行うことにより、より転位密度の小さな窒化物半導体層を成長させる。まず、図3を用いて説明したのと同様の方法によって、第1マスク12

aを用いて1回目のELOG成長を行い、第1窒化ガリウム層14aを成長させる。続いて、1回目のELOG成長によって形成された窓領域の上方に、第1マスク12aと同じ形状の第2マスク12bを形成し、2回目のELOG成長を行う。2回目のELOG成長によって形成された第2窒化ガリウム層14bには、実施の形態1又は2と同様に窓領域及び接合領域の2種類の高転位密度領域が存在するが、低転位密度領域の転位密度は実施の形態1又は2に比べて低減されている。

【0040】こうして得られた基板16の上に発光ダイオードの素子構造を形成し、実施の形態2と同様に、全ての高転位密度領域に対応して電流障壁層24を形成する。この構成により、活性層20における非発光再結合の発生をより一層効果的に抑制して、内部量子効率及びI-L特性のリニアリティをまたさらに向上することができる。

【0041】

【実施例】以下に、本発明の一実施の形態である実施例を示すが、本発明はこれに限定されない。図1及び図3を元に実施例について説明する。

【0042】実施例

(基板16の製造) 2インチφ、(0001)C面を主面とするサファイア基板10の上に500℃にて、GaNよりなるバッファ層(図示せず)を200オングストロームの膜厚で成長させた後、温度を1050℃にしてアンドープGaN層11を5μm膜厚で成長させる。尚、この成長させる膜厚は、5μmに限定されるものではなく、バッファ層よりも厚い膜厚で成長させて、10μm以下の膜厚に調整することが望ましい。次にこのアンドープGaN層11の成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、このGaN層の表面に、ストライプ状のフォトマスクを形成し、CVD装置によりストライプ幅15μm、ストライプ間隔(窓部)5μmのSiO₂よりなるマスク12を0.1μmの膜厚で形成する。マスク12を形成後、ウェーハを再度反応容器内にセットし、1050℃で、アンドープGaN14を10μmの膜厚に成長させる。アンドープGaN層11の結晶欠陥は $10^{10}/\text{cm}^2$ 以上であったが、GaN層14の結晶欠陥は $10^6/\text{cm}^2$ 以下であった。

【0043】(n型層18) 次に、n型コンタクト層、n側第1多層膜層、及びn側第2多層膜層から成るn型層18を形成する。まず、1050℃で、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーブしたGaNよりなるn側コンタクト層を2.25μmの膜厚で成長させる。次にシランガスのみを止め、1050℃で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層を75オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加しSiを $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーブしたGaN層を25オングストロームの膜厚で成長さ

せる。このようにして、75オングストロームのアンドープGaN層からなるA層と、SiドーブGaN層を有する25オングストロームのB層とからなるペアを成長させる。そしてペアを25層積層して2500オングストローム厚として、超格子構造の多層膜よりなるn側第1多層膜層を成長させる。

【0044】次に、同様の温度で、アンドープGaNよりなる第2の窒化物半導体層を40オングストローム成長させ、次に温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープIn_{0.13}Ga_{0.87}Nよりなる第1の窒化物半導体層を20オングストローム成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第2+第1の順で交互に10層ずつ積層させ、最後にGaNよりなる第2の窒化物半導体層を40オングストローム成長させた超格子構造の多層膜よりなるn側第2多層膜層を640オングストロームの膜厚で成長させる。

【0045】(活性層20) 次に、アンドープGaNよりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を7層、井戸層を6層、交互に積層して、総膜厚1930オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層20を成長させる。

【0046】(p型層22) 次に、p側多層膜クラッド層及びp側コンタクト層から成るp型層22を形成する。まず、温度1050℃でTMG、TMA、アンモニア、Cp₂Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーブしたp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第3の窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニア、Cp₂Mgを用いMgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーブしたIn_{0.03}Ga_{0.97}Nよりなる第4の窒化物半導体層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第3+第4の順で交互に5層ずつ積層し、最後に第3の窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させた超格子構造の多層膜よりなるp側多層膜クラッド層を365オングストロームの膜厚で成長させる。続いて1050℃で、TMG、アンモニア、Cp₂Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーブしたp型GaNよりなるp側コンタクト層を700オングストロームの膜厚で成長させる。

【0047】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0048】(電流障壁層24) 次に、1050℃で、原料ガスにTMG、アンモニアガス、TMAを用い、ノ

ンドープ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなる電流障壁層 24 を 200 Å の膜厚で成長させる。 SiO_2 マスク 12 のマスク間に相当する位置を残して、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層 24 をストライプ形状にエッチング除去する。

【0049】 (p 型電極 26、n 型電極 30) 次に、ウェーハを反応容器から取り出し、表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE (反応性イオンエッチング) 装置で p 型層 22 側からエッチングを行い、図 1 に示すように n 型層 18 内の n 側コンタクト層の表面を露出させる。

【0050】 エッチング後、最上層にある p 型層 22 及び電流障壁層 24 を覆って、p 型層 22 のほぼ全面に、膜厚 200 オングストロームの Ni と Au を含む透光性の p 電極 26 と、その p 電極 26 の上にボンディング用の Au よりなる p パッド電極 28 を 0.5 μm の膜厚で形成する。一方、エッチングにより露出させた n 側コンタクト層の表面には W と Al を含む n 電極 30 を形成して LED 素子とした。

【0051】 比較例

ELOG 成長させた基板 16 の代りに、以下に説明する基板を用いた点、及び電流障壁層 24 を形成しない点を除いては、実施例と同じ方法によって LED 素子を作製した。

【0052】 (基板) サファイア (C 面) よりなる基盤を MOVPE の反応容器内にセットし、水素を流しながら、基板の温度を 1050℃ まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。続いて、温度を 510℃ まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアと TMG (トリメチルガリウム) とを用い、基板 16 上に GaN よりなるバッファ層を約 150 オングストロームの膜厚で成長させる。バッファ層成長後、TMG のみ止めて、温度を 1050℃ まで上昇させる。1050℃ になったら、同じく原料ガスに TMG、アンモニアガスを用い、アンドープ GaN 層を 1.5 μm の膜厚で成長させる。

【0053】 実施例及び比較例において得られた LED 素子は、順方向電流 20 mA において、470 nm の純青色発光を示した。図 6 は、実施例及び比較例で得られた LED について、電流-光出力特性を測定した結果を示すグラフである。図に示すように、比較例の LED においては、順方向電流値が約 25 mA 以上でリニアリティが悪くなり、約 100 mA で光出力は飽和に達した。一方、実施例の LED においては、順方向電流値が 75

mA においても良好なリニアリティを維持しており、約 125 mA で光出力が飽和に達した。また、順方向電流値が 100 mA の時の外部微分量子効率を測定したところ、比較例の LED では約 15~18% であったのに対し、実施例の LED では 20~22% に向上していた。

【0054】

【発明の効果】 本発明によれば、低転位密度領域と高転位密度領域が短周期に交互に存在する窒化物半導体基板を用いて、両方の領域が各々複数含まれるような大面積に LED チップを形成し、p 電極の下側に設けた電流障壁層により低転位密度領域に電流を集中させたため、十分な発光面積を有し、かつ、量子効率やリニアリティに優れた窒化物半導体発光ダイオードを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 図 1 は、本発明の実施の形態 1 に係る窒化物半導体 LED を示す模式断面図である。

【図 2】 図 2 は、本発明に係る窒化物半導体 LED における電流経路を示す模式図である。

【図 3】 図 3 (a) から (c) は、本発明に係る窒化物半導体 LED に用いる窒化物半導体基板の製造方法を示す概略工程図である。

【図 4】 図 4 は、本発明の実施の形態 2 に係る窒化物半導体 LED を示す模式断面図である。

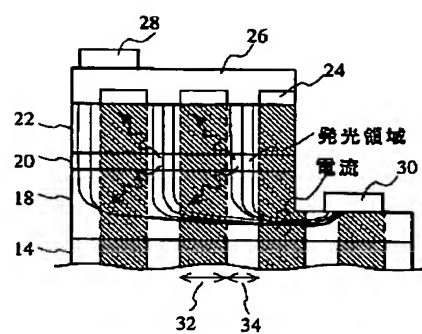
【図 5】 図 5 は、本発明の実施の形態 3 に係る窒化物半導体 LED を示す模式断面図である。

【図 6】 図 6 は、実施例及び比較例の窒化物半導体 LED の電流-光出力特性を示すグラフである。

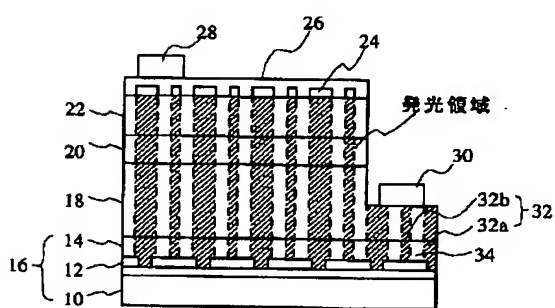
【符号の説明】

- 10・・・サファイア基板、
- 12・・・ SiO_2 マスク、
- 14・・・窒化ガリウム層、
- 16・・・基板、
- 18・・・n 型層、
- 20・・・活性層、
- 22・・・p 型層、
- 24・・・電流障壁層、
- 26・・・p 型電極 (= 金属電極)、
- 28・・・p パッド、
- 30・・・n 電極、
- 32・・・高転位密度領域、
- 34・・・低転位密度領域。

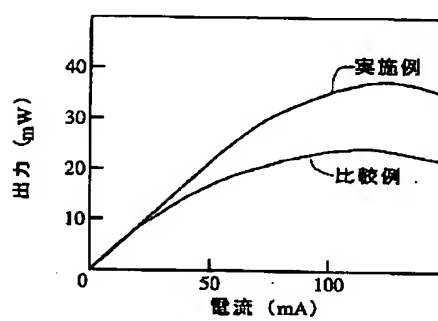
【図 2】



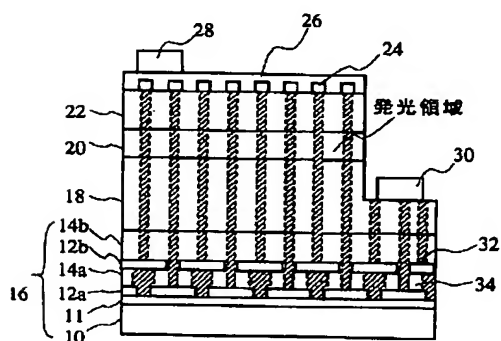
【图4】



【図 6】



【図 5】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F041 AA03 AA40 CA02 CA05 CA08
CA34 CA35 CA40 CA46 CA65
CA67 CA74 CA82 CA92 CB36
FF01
5F045 AA04 AB14 AB17 AC01 AC08
AC12 AD14 AF02 AF04 AF09
BB12 BB16 CA10 DA53 DB02
DB04 DB06